8P

УДК 004.4, 004.08

К.А. Ручкин
Государственный университет информатики и искусственного интеллекта
г. Донецк, Украина
c_ruchkin@mail.ru

Исследование компьютерных графических методов построения 3D сечений Пуанкаре

В работе продолжены начатые в [1-4] исследования компьютерных графических методов и инструментов, позволяющих проводить компьютерные исследования нелинейных динамических систем. Основное внимание уделено проблемам построения 3-мерных компьютерных сцен, предназначенных для отображения сечений Пуанкаре, и способам их управления. Для этого в работе подробно проанализированы современные объектно-ориентированные платформы, предназначенные для построения графических движков, а также современные средства управления трехмерными графическими сценами – виртуальными джойстиками. Результаты исследований легли в основу разрабатываемой интерактивной компьютерной системы [2].

1. Постановка задачи

В последнее время задача проведения компьютерного исследования поведения динамики хаотических систем является достаточно актуальной задачей [1-4]. Разрабатываемые новые и универсальные компьютерные методы, связанные с трехмерной графикой, могут быть применены к достаточно разнообразным и сложным нелинейным динамическим системам и позволяют получить новые результаты. Одним из таких методов является метод построения сечений Пуанкаре в трехмерном пространстве. Однако при решении этой задачи приходится сталкиваться с рядом проблем, основными из которых являются: выбор подходящего метода численного интегрирования; выбор метода построения трехмерной сцены (выбор подходящей объектно-ориентированной платформы для построения трехмерной сцены); выбор средств управления трехмерной сценой.

Целью работы является исследование компьютерных графических методов и инструментов построения трехмерных сцен, предназначенных для визуализации и управления отображением трехмерных сечений Пуанкаре.

Процедура построения сечений Пуанкаре требует огромного количества расчетного времени, поскольку оператор отображения строится путем численного интегрирования системы дифференциальных уравнений, а его эффективность складывается из двух составляющих – точности и быстродействия. Алгоритм эффективен, если при фиксированной точности он обладает наибольшим быстродействием по сравнению с другими алгоритмами. Мерой быстродействия численного метода является количество перевычислений функций правых частей уравнений на интервале движения. Точность численного интегрирования системы дифференциальных уравнений определяется многими факторами. Более подробно эти вопросы рассмотрены на примере системы Эйлера – Пуассона, системы Лоренца [3] и системы Хилла [5], [6]. Так как точность численного метода определяется порядком аппроксимирующей формулы, то повышение этого порядка уменьшает локальную ошибку метода, т.е. ошибку, допускаемую на каждом шаге интегрирования. Повышение порядка метода позволяет не только уменьшить глобальную ошибку, но и увеличить шаг интегрирования,

что в свою очередь приводит к уменьшению ошибок округления и сокращает время вычислений. Также следует отметить, что повышение порядка метода обычно приводит к улучшению свойств устойчивости метода. Во-вторых, это сама система дифференциальных уравнений, описывающая движение небесных тел. Функции правых частей этих уравнений нерегулярны в окрестности сближения гравитирующих масс. И хотя в практических задачах небесной механики соударения тел, как правило, не рассматриваются, наличие особенностей в уравнениях движения оказывает существенное влияние на процесс численного интегрирования. Особенности в правых частях дифференциальных уравнений и тесные сближения с возмущаемыми телами приводят к неравномерному изменению функций правых частей уравнений движения. При численном решении задачи такая неравномерность приводит к нерациональному дроблению шага интегрирования, что в свою очередь снижает точность численного интегрирования и увеличивает затраты машинного времени.

Итак, на примерах нелинейных динамических систем размерностью выше трех (системы Лоренца, с тремя степенями свободы, системы Хилла, имеющей четырехмерное фазовое пространство, системы Эйлера – Пуассона с шестимерным фазовым пространством) рассматривается задача построения трехмерного сечения Пуанкаре фазового пространства. Многомерность пространства существенно затрудняет попытки компьютерного графического представления фазового портрета системы и дальнейшего построения трехмерных сцен. Прежде всего это связано с выбором метода построения трехмерной графической сцены (выбор подходящей платформы для программирования графического движка) и разработкой инструментов интерактивного управления трехмерными сценами. Рассмотрим эти вопросы более подробно.

2. Выбор объектно-ориентированной платформы

Графический движок (англ. graphics engine; иногда «рендерер» или «визуализатор») – подпрограммное обеспечение, программный движок, основной задачей которого является визуализация (рендеринг) двухмерной или трёхмерной компьютерной графики. Может существовать как отдельный продукт или в составе игрового движка. Может использоваться для визуализации отдельных изображений или компьютерного видео. Графические движки, использующиеся в программах по работе с компьютерной графикой (таких, как 3ds Max, Maya, Cinema 4D, Zbrush, Blender), обычно называются «рендерерами», «отрисовщиками» или «визуализаторами». Само название «графический движок» используется, как правило, в компьютерных играх.

Основное и важнейшее отличие «игровых» графических движков от программных рендереров состоит в том, что первые должны обязательно работать в режиме реального времени, тогда как вторые могут тратить по несколько десятков часов на вывод одного изображения. Вторым существенным отличием является то, что начиная приблизительно с 1995 – 1997 года графические движки производят рендеринг с помощью графических процессоров (англ. GPU), которые установлены на отдельных платах – видеокартах. Программные рендереры используют только центральные процессоры (англ. CPU).

Все движки условно можно разделить на два класса. Для поддержки форматов/различных сервисов и так называемые комплексные системы. Те, что для поддержки форматов, – это небольшие движки для внедрения в игру файлов различных расширений. Такая технология обычно основана на собственном коде или комплексном движке, не поддерживающем требуемый формат самостоятельно. Комплексный же движок – это общая система библиотек и инструментов, на базе которой

можно создавать законченный продукт. Графические движки используются для создания игр, симуляторов, бизнес-приложений и т.д. С точки зрения бизнеса, они предоставляют гибкую и многократно используемую программную платформу со всей необходимой функциональностью для разработки игрового приложения, сокращая затраты, сложность и время разработки – все критические факторы в сильноконкурирующей индустрии видеоигр и научных графических разработок.

OGRE (Object-Oriented Graphics Rendering Engine) – объектно-ориентированный графический движок с открытым исходным кодом, написанный на С++. Автором OGRE является Steve Streeting [7].

OGRE сам по себе не является игровым движком и по заявлению автора никогда таковым не будет. OGRE был, есть и будет движком для рендеринга трехмерной графики. Большую популярность движок получил за счет своей гибкости, что позволяет «скрещивать» его со многими другими библиотеками (физика – ODE, Newton, PhysX, Bullet; звук, сеть, графический интерфейс и т.д.):

– поддержка платформ Windows, Linux и Mac OS X;
– скриптовая система управления материалами;
– экспортеры для основных коммерческих и свободных пакетов 3D моделирования;
– система управления ресурсами.

Irrlicht – это бесплатный свободный трёхмерный (3D) графический движок, использующий возможности OpenGL, DirectX и нескольких собственных рендереров. Пользователю предоставляются различные функциональные возможности по загрузке и управлению 3D объектами (сцены, модели и т.п.), немногими спецэффектами и графическим интерфейсом пользователя.

GLScene – графический движок, написанный для Дельфи и использующий библиотеку OpenGL в качестве API [8], является бесплатным для коммерческого и некоммерческого использования и распространяется с открытым исходным кодом. С его помощью программирование трёхмерной графики страновится более простым и быстрым. Большое количество объектов и дополнительных визуальных компонентов VCL помогает программистам создавать мощные 3D-приложения для Delphi. Поддерживает большое количество импортируемых форматов, таких как: 3ds, obj, vrml, smd, md2, md3, nmf, oct, lwo, b3d, gl2, gls, ms3d, Nurbs, lod и некоторые другие. Также есть небольшой собственный движок расчёта столкновений с учётом законов сохранения импульса DCE. Однако у бесплатных графических движков есть некоторые недостатки:

– отсутствие поддержки со стороны создателя – бесплатный, значит, никто за движок и его содержимое ответственности не несет;
– неполноценность – бесплатные движки не являются комплексными, то есть, как правило, в них не хватает всех необходимых для создания законченного продукта инструментов;
– ограниченность возможностей для геймдизайна – обычно бесплатные технологии поддерживает лишь несколько известных и часто используемых игровых элементов.

3. Управление трехмерными сценами

Прежде чем рассматривать элементы и структуру навигации в трехмерных сценах, определим само понятие этой сцены. Под трехмерной сценой подразумевают совокупность объектов в мировой системе координат, которые образуют пространство. В любой 3D сцене присутствует камера, с помощью которой и происходит обзор самой сцены. Управление этой камерой и есть навигация внутри 3D сцены.

С проблемой управления в трехмерных сценах сталкиваются везде, где их используют в играх, всяческих приложениях, интернет-сайтах и т.д. Полностью свободным перемещением в трехмерном пространстве есть перемещение с шестью степенями свободы (часто употребляется аббревиатура «6DoF», от en. Six degrees of freedom), то есть присутствует возможность геометрической фигуры совершать движения в (трёхмерном) пространстве, а именно: двигаться вперёд/назад, вверх/вниз, влево/вправо (в декартовой трёхмерной системе координат), включая повороты вокруг каждой из трёх взаимно-перпендикулярных осей (рыскание, тангаж, крен). Шесть степеней применяются при построении компьютерных игр с отсутствием гравитации, где игрок может свободно двигаться и поворачиваться в трёхмерном пространстве. Однако не везде необходимо столько степеней свободы, поэтому и создаются различные виды управления внутри трехмерных сцен.

Рассмотрим программу World Wind – трёхмерный интерактивный виртуальный глобус, созданный NASA. Использует спутниковые снимки и аэрофотосъёмку, World Wind использует несвободную лицензию с открытым исходным кодом. Из-за используемых при разработке технологий программа работает только под управлением операционных систем семейства Windows NT. Управление в этой программе предоставляется пользователю как при помощи мыши, так и при помощи клавиатуры. Для перемещения камеры не задействовано много клавиш и поэтому интерфейс управления не является очень сложным [9].

Однако существует и аналогичная ей программа Google Earth, являющаяся проектом компании Google [10], в рамках которого в сеть Интернет были выложены спутниковые фотографии всей земной поверхности, фотографии некоторых регионов имеют очень высокое разрешение. В этой программе хорошо показан пример работы в трехмерном пространстве. В ней используется управление как с мыши, так и с клавиатуры, а также, в отличие от World Wind, все клавиши дублируются так называемым графическим джойстиком, расположенным в верхнем правом углу экрана. Рассмотрим элементы этого джойстика. На рис. 1 изображена его центральная часть, нажиманием на стрелки внутри нее осуществляется перемещение средства просмотра в направлении, указанном стрелкой. Также в центре расположен круг с указанием расположения севера, с его помощью можно вращать окно просмотра по и против часовой стрелки.

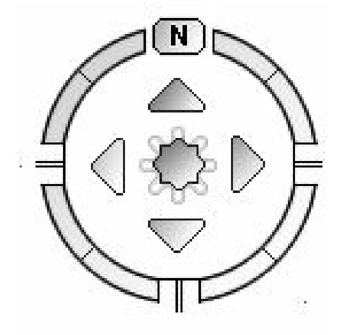


Рисунок 1 – Графический джойстик Google Earth

На рис. 2 изображен правый ползунок джойстика, позволяющий менять расстояние камеры от поверхности планеты.

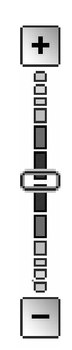


Рисунок 2 – Верхний ползунок джойстика

На рис. 3 изображен верхний ползунок джойстика, отвечающий за наклон камеры по отношению к горизонту.

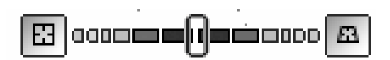


Рисунок 3 – Верхний ползунок джойстика

В последнее время часто 3-мерные сцены проектируются на языке VRML, специально разработанном для создания трехмерных сцен и перемещения в них непосредственно в браузере. Ярким примером использования технологий VRML является сайт [11]. К сожалению, в таких 3D мирах не используются такие широкие возможности навигации, как в том же Google Earth. Для работы внутри них необходимо ставить специальные плагины для браузера, основными являются Blaxxun Contact и Cortona VRML Client, минус в том, что и тот и другой плагины имеют набор клавиш для перемещения в таких сценах, даже тех клавиш, что используются в них, вполне хватает для комфортной работы.

Проблема удобной навигации внутри трехмерных сцен всегда будет, пока существуют трехмерные программы, которым это необходимо. Однако уже на сегодняшний день можно говорить о множествах удачных решений по этой проблеме. Google Earth является отличным примером решения проблем навигации в 3D, и вполне может быть использован как шаблон для решения этой проблемы в похожих задачах.

4. Практическая реализация

Для решения задачи построения сечений Пуанкаре разработана интерактивная компьютерная система [2]. Данная программа позволяет строить огибающую поверхность с отображением возвратов Пуанкаре непосредственно на ней, а не только на сфере Пуассона, что тоже реализовано в программе. Сфера Пуассона представлена в двух видах – двумерном и трехмерном. Двумерная сфера отображается в двух окнах – внутренняя и внешняя части. Система реализована с использованием графической библиотеки OpenGL, что позволяет достаточно наглядно отображать результаты работы. Помимо основных вычислительных функций, программа обладает удобным интерфейсом, позволяющим гибко настраивать программу, а также имеет «Панель инструментов», содержащую основные функции программы, позволяющую пользователю достаточно быстро выполнить необходимые ему действия. С использованием этой библиотеки были реализованы функции настройки освещения и текстурирования, с целью более качественного изображения огибающих, сечений, моделей объектов и сфер Пуассона, над которыми существует возможность производить различные операции, например, отсечение плоскостью, масштабирование, поворот и т.д. (рис. 4, 5).

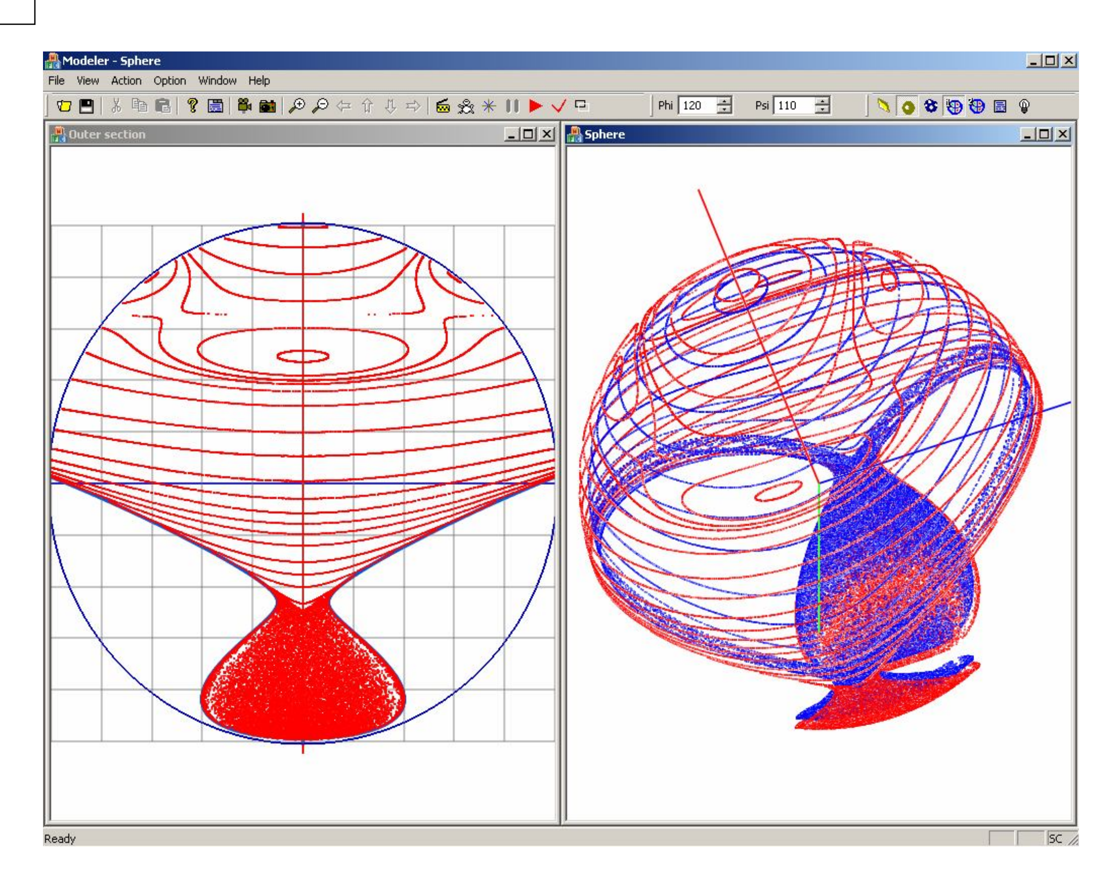


Рисунок 4 – 2D и 3D сечения Пуанкаре

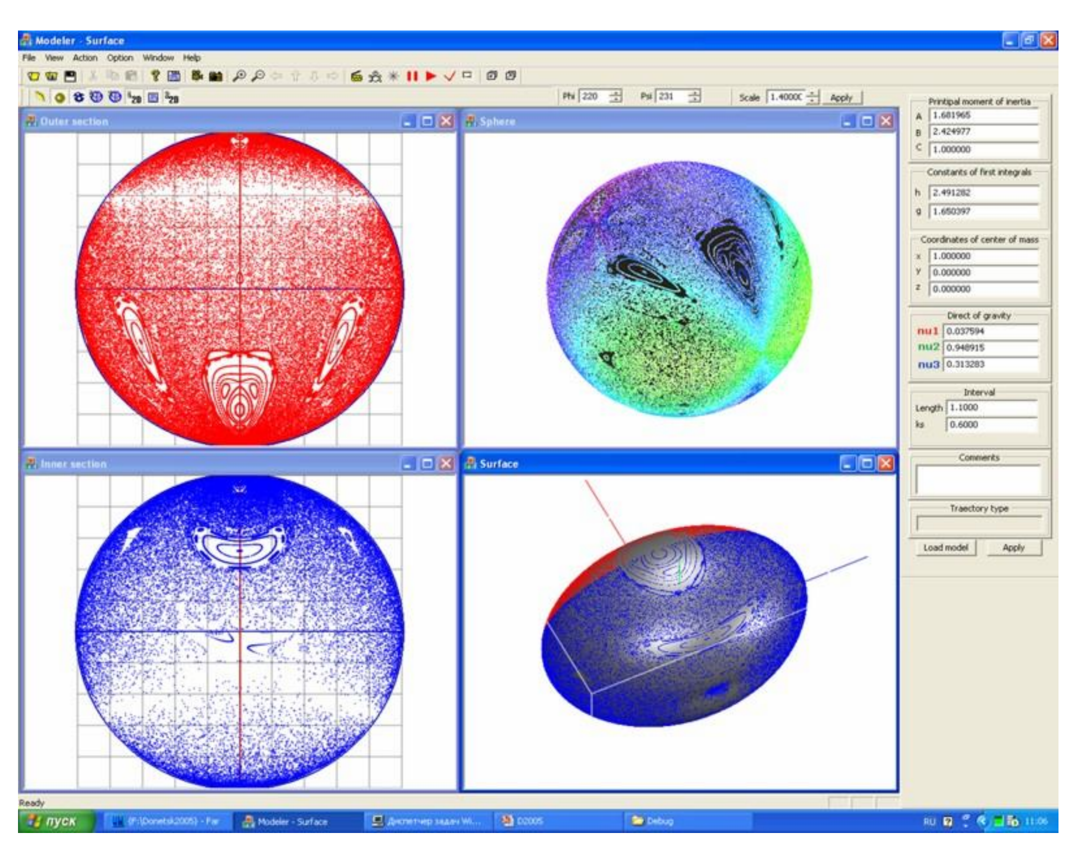


Рисунок 5 – Управление трехмерной сценой

Выводы

Проведенные исследования методов и способов разработки трехмерных сцен были успешно использованы при создании универсальной интерактивной компьютерной системы, предназначенной для проведения качественного и графического анализа поведения динамических систем. Для построения трехмерных сцен и отображения на них трехмерных сечений Пуанкаре используются принципы GLScene, интерактивное управление трехмерными сценами осуществляется с помощью разработанного виртуального джойстика. Все это позволяет использовать результаты программы для хранения, обработки и последующего анализа с помощью средств искусственного интеллекта.

Литература

1. Гашененко И.Н. Визуальное моделирование хаотической динамики тяжелого твердого тела / И.Н. Гашененко, С.В. Лапенко, К.А. Ручкин // Укр. матем. конгресс. – 2001. – С. 14-15.
2. Ручкин К.А. Методы компьютерного моделирования и анализа решений задач хаотической динамики / К.А. Ручкин // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4. – С. 175-181.
3. Ручкин К.А. Численный анализ характеристических показателей системы уравнений Эйлера – Пуассона / К.А. Ручкин, В.В. Трофимов // Искусственный интеллект. – 2005. – № 2. – С. 56-64.
4. Разработка компьютерной системы для построения и анализа сечений Пуанкаре / К.А. Ручкин // Искусственный интеллект. – 2009. – № 1. – С. 83-87.
5. Аксенов Е.П. Задача Хилла и ее периодические решения // Почти периодические орбиты в небесной механике : сборник / под ред. Е.П. Аксенова / Е.П. Аксенов. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – С. 26-46.
6. Сумароков С.И. Сравнительный анализ численных методов построения сечения Пуанкаре / С.И. Сумароков, Н.В. Батхина, А.Б. Батхин.
7. Режим доступа : http://www.ogre3d.org/
8. Режим доступа : http://irrlicht.sourceforge.net/
9. Режим доступа : http://worldwind.arc.nasa.gov
10. Режим доступа : http://earth.google.com
11. Режим доступа : http://www.volgograd.ru/

К.А. Ручкін

Дослідження комп’ютерних графічних методів побудови 3D перетинів Пуанкаре

У роботі продовжені розпочаті в [1-4] дослідження комп’ютерних графічних методів та інструментів, що дозволяють проводити комп’ютерні дослідження нелінійних динамічних систем. Основна увага приділена проблемам побудови 3-вимірних комп’ютерних сцен, призначених для відображення перетинів Пуанкаре, та способам їхнього керування. Для цього в роботі докладно проаналізовані сучасні об’єктно-орієнтовані платформи, призначені для побудови графічних движків, а також сучасні засоби керування тривимірними графічними сценами – віртуальними джойстиками. Результати досліджень лягли в основу розроблюваної інтерактивної комп’ютерної системи [2].

K.A. Ruchkin

Research of Computer Graphic Methods of Construction 3D Poincare Sections

In the work are continued started in [1-4] researches of computer graphic methods and the tools, allowing to carry out computer researches of nonlinear dynamic systems. The basic attention is given to problems of construction of 3-measured computer stages intended for display of Poincare sections and ways of their controling. For this purpose in the work modern object-oriented platforms intended for construction of graphic cursors, and also modern control facilities of three-dimensional graphic stages – virtual joysticks are in detail analysed. The results of researches from the basic of developed interactive computer system [2].

Статья поступила в редакцию 09.07.2009.